

Perbaikan dan Perkuatan Fondasi Tiang Bor pada Bangunan Gedung Perkuliahan dengan Penambahan Tiang Pancang Bulat

Annisa Junaid^{a*}

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

Abstrak

Fondasi harus dibangun di atas tanah keras agar bangunan tetap stabil dan kokoh. Memastikan kekuatan fondasi adalah upaya dini untuk mencegah *sudden collapse* pada bangunan di kemudian hari. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat dukung tanah pada ujung tiang fondasi dan mengamati sejauh apa kerusakan beton tiang bor pada bangunan yang baru masih dalam tahap pembangunan fondasi. Data penelitian diperoleh dari hasil pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan PIT (*Pile Integrity Test*) pada fondasi bangunan jenis *bored pile* D80. Pada gedung yang berdekatan, yang dikerjakan dengan sistem yang sama dan menggunakan spun pile D50. Data kuat dukung *ultimate* hasil manometer alat uji hidrolik 175 ton untuk pile D50. Dari analisis uji PDA, diperoleh nilai kuat dukung ijin rata-rata tiang bor adalah 70,25 ton (51%). Analisis ulang terhadap kombinasi beban menghasilkan tambahan spun pile di 44 titik. Pada beton *bored pile* yang mengalami kerusakan, dilakukan perbaikan seperti penambahan cor pada lapisan luar (*concrete-jacketing*) untuk menutupi lapisan tulangan yang terekspos, dan penambahan tulangan terpisah di sisi dalam beton untukantisipasi bila tulangan luar rusak akibat korosi.

Kata-kata kunci: Uji PDA, PIT, tiang bor, spun pile, beton

Abstract

The foundation must be placed on hard rock so that the building remains stable and solid. Thus, ensuring the strength of the foundation is an early effort to prevent sudden collapse of the building in the future. This research was conducted to determine the bearing strength of the soil at the ends of the foundation piles and to observe the extent of the damage to the drill pile concrete in the new building which is still in the foundation construction stage. The research data were obtained from the results of PDA (*Pile Driving Analyzer*) and PIT (*Pile Integrity Test*) testing on the foundation of the bored pile type D80 building. The adjacent building is being worked on with the same system and using a D50 spun pile. With the ultimate bearing strength data, the results of the hydraulic tool manometer = 175 tons for D50 piles. PDA test analysis obtained the average allowable bearing strength of the drill pile is 70.25 tons (51%). The re-analysis of the load combination resulted in additional spun piles at 44 points. In the damaged bored pile concrete, namely by adding cast to the outer layer (*concrete-jacketing*) to cover the exposed reinforcement layer, and adding separate reinforcement on the inside of the concrete to anticipate if the outer reinforcement is damaged due to corrosion.

Keywords: PDA test, PIT, bored pile, spun pile, concrete

Riwayat Artikel
Diserahkan
5 Agustus 2021

Direvisi
20 Agustus 2021

Diterima
28 Agustus 2021

*Penulis korespondensi
annisa.junaid@umi.ac.id

© 2021 Penerbit LP3M UMY. All rights reserved

1 PENDAHULUAN

Penggunaan fondasi tiang pada konstruksi telag banyak digunakan diberbagai negara termasuk di Indonesia. Tiang terus digunakan hingga saat ini sebagai fondasi dalam untuk menopang berbagai jenis struktur dalam berbagai kondisi geoteknik/geologi di darat dan di laut. Karena peran penting mereka dalam mendukung struktur, upaya substansial dan biaya yang terlibat dalam konstruksi mereka, dan konsekuensi yang berpotensi bencana dari kegagalan mereka, selalu ada keinginan dan

kebutuhan untuk mengevaluasi tiang menurut pengetahuan mutakhir kontemporer (Hussein & Goble, 2004).

Insinyur selalu mencari metode yang lebih murah dan lebih cepat untuk mengevaluasi sistem dan material yang direkayasa. Pengujian *pile driving analyzer* (PDA) telah menjadi bagian rutin dari pemasangan tiang pada proyek. Peningkatan penggunaan PDA pada proyek-proyek sebagai pengganti uji beban tiang statis tradisional adalah tren yang harus dievaluasi. PDA dapat menunjukkan

kapasitas ultimit tiang yang lebih kecil daripada yang ditunjukkan oleh analisis pembebanan statis. Saat ini, pengujian dinamik juga sering digunakan untuk kapasitas fondasi tiang bor berdasarkan metode gelombang tegangan (*stress wave*) adalah prosedur yang banyak dipakai, khususnya di Eropa dan Asia (Budi dkk., 2015; Linkins dkk., 2008). PDA menerapkan pengujian dinamik regangan tinggi (*high-strain dynamic*) dapat juga dikombinasikan dengan Uji Penetrasi Standar (SPT) untuk evaluasi kinerja pemukul (*hammer*) dengan mengukur energi yang ditransfer ke bagian atas batang, dan karakteristik ketahanan tanah untuk desain dan analisis fondasi dalam. (Rausche dkk, 1996). Penilaian integritas struktural untuk tiang bor di tempat, tiang beton, tiang pipa baja yang diisi beton, dan terkadang tiang kayu dan baja dapat dilakukan dengan mudah dan ekonomis menggunakan pengujian non-destruktif (NDT) metode *dynamic low-strain pulse-echo*; biasa dikenal dengan Uji Integritas Tiang (PIT) (Hussein & Liking, 2005).

Uji PDA dan PIT juga dilakukan pada tiang bor di pekerjaan Pembangunan Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Muslim Indonesia (UMI), Makassar. Pengujian tersebut digunakan untuk menentukan kapasitas tiang bor dan evaluasi kualitas pengecoran beton tiang bor. Kualitas pekerjaan pengecoran beton tiang bor menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kuat dukung fondasi untuk menyalurkan beban yang bekerja ke lapisan tanah. Sebanyak tujuh beton tiang bor di lapangan menampilkan bagian tulangan dalam beton (Gambar 1).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kuat dukung tanah ujung tiang boar terhadap gaya aksial dan mengamati kerusakan beton tiang bor serta mengkaji ulang desain tiang bor. Hasil kaji ulang ini sebagai rekomendasi metode perbaikan di kelompok tiang bor yang mengalami kerusakan beton dengan penambahan tiang pancang bulat (*spun pile*).

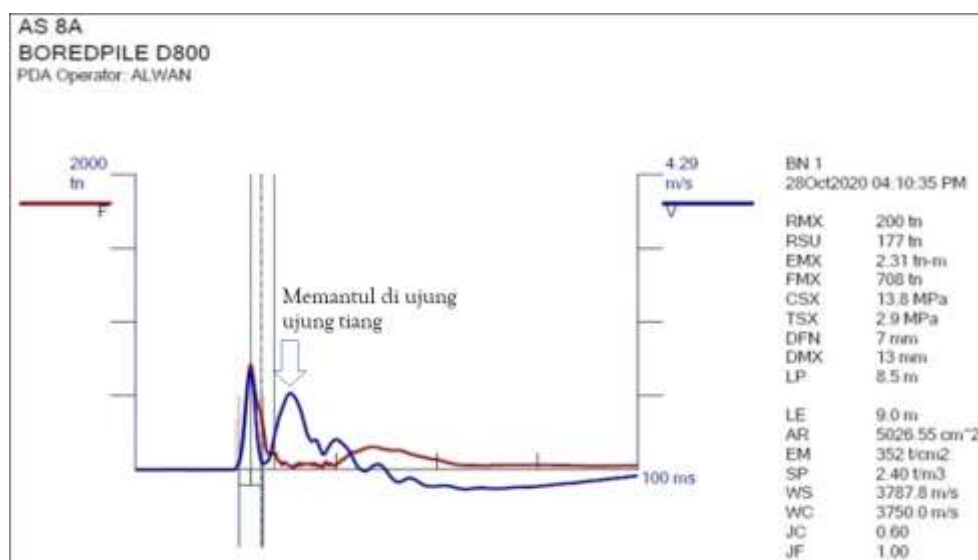


Gambar 1 Kondisi beton bored pile

2 DATA DAN ANALISIS

Penelitian ini dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Muslim Indonesia (UMI) yang terletak di Jl. Urip Sumoharjo km 5, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Data penelitian diperoleh dari hasil pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan PIT (*Pile Integrity Test*) yang dilakukan pada fondasi tiang bor berdiameter 80 cm (D80). Gambar 2 menyajikan tipikal analisis CAPWAP dari hasil uji PDA.

Data *spun pile* menggunakan data sekunder yang diambil dari gedung berdekatan yang dikerjakan dengan sistem yang sama. Diameter *spun pile* yang digunakan adalah 50 cm (D50). Kuat dukung ultimit hasil pembacaan manometer pada alat hidraulik sebesar 175 ton. *Spun pile* digunakan sebagai tiang tambahan untuk perbaikan kuat dukung fondasi. Jumlah spun pile yang ditambahkan didasarkan pada analisis dan penghitungan kuat dukung sesuai dengan SNI 1726: 2019 (BSN, 2019a) dan SNI 8460-2017 (BSN, 2017). Jumlah penambahan titik spun pile dianalisis dari hasil pengujian dan penghitungan kombinasi beban kritis akibat beban gravitasi, gempa nominal, dan gempa kuat.



Gambar 2 Hasil uji PDA

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji PDA dan Kuat Dukung Tiang

Gambar 2 merupakan grafik hasil PDA pada salah satu titik di as 8A. Hasil uji pada Gambar 2 adalah tipikal grafik yang ditemukan dari pengujian di delapan titik fondasi. Pada grafik dapat dideteksi bahwa ujung tiang telah mencapai pada lapisan tanah keras apabila gaya (F) di ujung tiang akan memantul karena *compression wave*. Namun, jika kondisi ujung tiang tidak mencapai lapisan tanah keras maka grafik kecepatan (V) di ujung tiang yang akan memberi pantulan. Kondisi seperti ini mengindikasikan bahwa ujung tiang masih berada pada tanah lunak, sumbatan tanah pada ujung tiang (*soft toe effect*), atau kondisi lain yang tidak terdeteksi pada ujung tiang (*end-bearing*). Semua hasil uji PDA untuk 6 titi menunjukkan adanya pantulan pada bagian V, baik di lokasi as 8 maupun di lokasi lainnya. Hasil ini juga menunjukkan terdapat 6 titik kategori IR atau hasil pengujian pada tiang tidak dapat dilakukan interpretasi karena terdapat kesalahan. Pada titik uji as 2B', tiang memiliki kondisi yang sedikit rusak pada kedalaman 3,2 meter dengan prediksi keutuhan tiang 87%, sehingga dikategorikan sebagai PF. Tabel 1 menyajikan kuat dukung tiang bor hasil analisis CAPWAP untuk as 8A, 8B, dan 8C. Sedangkan Tabel 2 menyajikan kuat dukung tiang bor pada pengujian kedua (*retest*). Kuat dukung ijin desain tiang bor adalah 138,5 ton (100%). Sedangkan, hasil kuat dukung ijin rata-rata tiang bor hasil analisis CAPWAP adalah 76,1 ton (55%). Nilai konservatif diambil dari nilai rata-rata terkecil antara hasil tes I dan II adalah 70,25 ton (51%). Hasil pengujian PDA ini dapat dipengaruhi oleh kondisi beton tiang bor seperti pada Gambar 1. Bagian beton yang keropos dan menampilkan bagian besi tulangan dapat mengurangi nilai kuat dukung tiang. Kondisi ini menjadi kritis, khususnya pada area kepala tiang dari bawah kepala tiang hingga kedalaman tiga kali diameter tiang (3D) di bawah kepala tiang. Sehingga tiang bor dianggap sebagai beton tanpa tulangan karena tulangan dianggap tidak memberikan kontribusi tahanan tarik. Maka berdasarkan SNI 2847:2019 (BSN, 2019b) penggunaannya dibatasi dalam kondisi tekan. Selain itu, kemungkinan penyebab berkurangnya kuat dukung karena kondisi ujung tiang yang tidak mencapai lapisan tanah keras. Kuat dukung tiang ini juga ditentukan oleh modulus deformasi tanah di sekitar tiang dan ujung tiang (Kharoza dkk., 2021).

Tabel 1 Kuat dukung ultimit dan ijin tiang bor hasil uji PDA

Nomor tiang	pengujian pertama	
	Kuat Dukung Ultimit, Q_{ult} CAPWAP (ton)	Kuat Dukung Ijin, Q_{all} CAPWAP (ton)
As 8A	214	107
As 8B	-	-
As 8C	78	94
As 8A	214	39
Rata-rata Hasil uji I	160	80

Tabel 2 Kuat dukung ultimate dan ijin dari hasil PDA

Nomor tiang	pengujian kedua	
	Kuat Dukung Ultimit, Q_{ult} CAPWAP (ton)	Kuat Dukung Ijin, Q_{all} CAPWAP (ton)
As 8A-retest	-	-
As 8B-retest	-	-
As 0B'	154,20	77,10
As 1B	126,80	63,40
Rata-rata Hasil uji II	140,50	70,25
Rata-rata seluruhnya	15220	76,10

3.2 Analisis Penambahan *Spun Pile*

Untuk mengusulkan penambahan titik spun pile sebagai upaya perkuatan fondasi, maka dilakukan analisis ulang terhadap kombinasi beban akibat gravitasi, gempa nominal, dan gempa kuat. Berdasarkan SNI 8460:2017, faktor keamanan atau *Safety Factor* (SF) minimum untuk kuat dukung ijin aksial dalam kondisi layan adalah 2,50 (pasal 9.2.3.1). Sedangkan SF minimum bila sudah dilakukan verifikasi uji fondasi adalah 2,00 (pasal 9.8(e)). Tabel 3 menyajikan kuat dukung ijin tiang bor dan tiang bulat dengan nilai SF = 2.

Tabel 3 Kuat dukung ijin aksial tiang

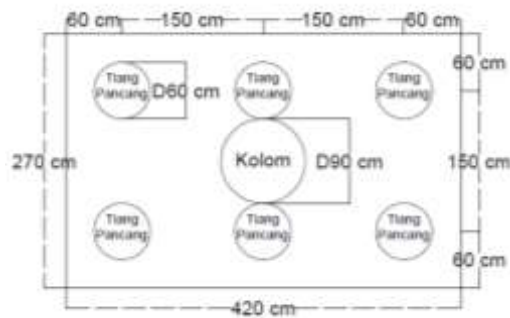
SF=2	SF= 2
Kuat dukung ijin tiang bor D80 (ton)	Kuat dukung ijin spun pile D50 hasil Uji PDA tipe hidrolik (ton)
68,49	78,75

Tabel 4 Kombinasi beban gravitasi

Tipe Kepala Tiang	Tiang Bor D80			Tambahan Spun Pile D50		
	Gaya Desak (ton)	D/C Ratio	Gaya Tarik (ton)	Gaya Desak (ton)	D/C Ratio	Gaya Tarik (ton)
2BP80+1SP50	48,42	0,71	0	53,24	0,68	0
4BP80+2SP50	67,58	0,99	0	64,06	0,81	0
5BP80+2SP50	60,93	0,89	0	67,99	0,86	0
5BP80+4SP50	69,56	1,02	0	76,59	0,97	0
6BP80+4SP50	63,86	0,93	0	74,45	0,95	0
8BP80+5SP50	69,63	1,02	0	78,00	0,99	0
8BP80+6SP50	65,76	0,96	0	75,61	0,96	0
18BP80+10SP50	71,75	1,05	0	81,71	1,04	0



Gambar 3 Denah rencana penambahan titik spun pile D50



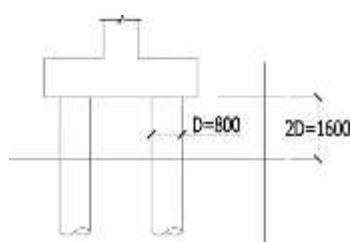
Gambar 4 Desain perletakan fondasi

Pada analisis pembebanan di Tabel 4 diperoleh bahwa kombinasi pembebanan yang menentukan adalah akibat beban gravitasi (nilai terkritis). Kondisi beban gempa nominal kurang menentukan walaupun P_{ijin} dinaikkan hingga 1,3 kali, namun rasio D/C masih lebih kecil dari kondisi beban gravitasi. Pada kondisi beban gravitasi terdapat nilai reaksi beban yang melebihi batas ($D/C \text{ ratio} > 1$) antara 2% hingga 5% sehingga masih diberikan toleransi. Berdasarkan nilai pada Tabel 4, maka tidak terjadi gaya tarik kecuali akibat kombinasi pembebanan gempa kuat untuk tipe 2BP80+1SP50. Dengan demikian total penambahan titik adalah 44 titik spun pile seperti digambarkan pada Gambar 4.

Pada struktur fondasi tiang, momen terbesar terjadi pada kepala tiang. Dalam analisis, kekakuan tiang bor direduksi agar tidak menerima gaya lateral secara penuh. Sehingga, sisanya akan ditahan oleh spun pile yang ditambahkan. Pelaksanaan penambahan spun pile menggunakan *hydraulic jack system (pressed-pile)*. Pelaksanaan menggunakan system hydraulic jack (press pile). Namun demikian analisis kelompok tiang juga perlu dilakukan pada kondisi layan agar memberikan reliabilitas nilai kuat dukung yang baik (Bian dkk., 2018).

3.3 Usulan Perbaikan Kerusakan Tiang Bor

Kerusakan yang terjadi pada pangkal tiang bor mengharuskan kepala tiang diperbaiki. Bila kondisi beton di bawah kepala tiang sedalam 2D (Gambar 5) masih terdapat banyak tulangan yang terekspos, maka tulangan akan tetap mengalami bahaya korosi. Untuk mencegah bahaya korosi maka diperlukan penambahan pekerjaan lapisan beton baru pada lapisan luar (*concrete-jacketing*) untuk menutupi lapisan tulangan yang terekspos (Gambar 6). Bila perlu penambahan tulangan terpisah di sisi dalam beton untukantisipasi bila tulangan luar rusak akibat korosi. Metode ini juga seperti yang direkomendasikan oleh Chmielewski dkk. (2020) dan Hussein dkk. (2005).



Gambar 4 Sketsa daerah perbaikan tiang bor di bawah kepala tiang



Gambar 5 Sketsa usulan metode perbaikan tiang bor

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa maka dapat diajukan usulan sebagai berikut:

1. Hasil kuat dukung ijin rata-rata tiang bor hasil analisis CAPWAP adalah 76,1 ton (55%). Nilai konservatif diambil dari nilai rata-rata terkecil antara hasil tes I dan II adalah 70,25 ton (51%).
2. Penambahan spun pile diperlukan sebanyak 44 titik dengan menggunakan ukuran tiang bediameter 50 cm. Pelaksanaan penambahan tiang ini menggunakan sistem *hydraulic jack (pressed-pile)*.
3. Perbaikan tiang bor dilakukan dengan penambahan beton baru pada lapisan luar (*concrete-jacketing*), dan penambahan tulangan terpisah di sisi dalam beton.

Daftar Pustaka

- Bian, X. Y., Jun-jie, Z., Rong-Jun, Z., Zhi-jun, X. (2018). Reliability analysis for Serviceability Limit State of pile groups foundation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 54-61. doi: 10.1007/s12205-017-0246-1
- BSN (2017) SNI 8460-2017 Persyaratan Perencanaan Geoteknik, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN (2019a) SNI 1726: 2019. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- BSN (2019b). SNI 2847: 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- Budi, G. S., Kosasi, M., & Wijaya, D. H. (2015). Bearing capacity of pile foundations embedded in clays and sands layer predicted using PDA test and static load test. *Procedia Engineering*, 125, 406-410. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.101
- Chmielewski, R., Kruska, L., Muzolf, P. (2020). The selection of methods for strengthening of the reinforced-concrete structure of the open tank. *Case Studies in Construction Materials*, 12, e00343. doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00343
- Hussein MH, Goble GG (2004) A Brief History of the Application of Stress-Wave Theory to Piles. In: J.A. DiMaggio; and M.H. Hussein, *Current Practices and Future Trends in Deep Foundations*. Geotechnical Special Publication GSP 125, American Society of Civil Engineers, pp 186-201. doi:10.1061/40743(142)11
- Hussein, M. H., & Liking, G. (2005). Deep Foundations Quality Control and Quality Assurance Testing Methods. *Journal of Florida Engineering Society*, 3, 12-16.
- Kharoza, M.L.F., Muntohar, A.S., Diana, W., Hartono, E. (2021) Karakteristik Kuat Geser Tanah Lempung Ekspansif di

- Sekitar Kolom SiCC, *Buletin Teknik Sipil* 1(1), 7-11. doi: 10.18196/bce.v1i1.11117
- Likins, G., Piscalko, G. Roppel. S. Rausche, F. (2008) PDA Testing: 2008 State of the Art, in Jaime Alberto dos Santos (ed.), "The Application of Stress-wave Theory to Piles: Science, Technology and Practice", Proceedings of the 8th International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles Lisbon, Portugal, 8-10 September 2008, pp. 395-402.